

Titre : Dynamique hors de l'équilibre et spectroscopie par quench de modèles quantiques ultrafroids à N -corps

Mots clés : quench quantique, cône de lumière, propagation des corrélations, systèmes désordonnés, verre de Bose, spectre d'excitation

Résumé : Les atomes ultrafroids sont devenus une plateforme polyvalente pour réaliser et contrôler des systèmes quantiques fortement corrélés. Les méthodes spectroscopiques sont les outils courants pour sonder les propriétés des excitations qui contrôlent les phénomènes dynamiques de transport. Dans cette thèse, nous développons une nouvelle méthode de spectroscopie par quench qui utilise la dynamique hors équilibre générée par un quench quantique pour fournir des informations sur les excitations résolues en vecteur d'onde. Nous testons la méthode sur des modèles unidimensionnels où des simulations numériques performantes et exactes par le groupe de renormalisation de la matrice densité sont disponibles. Premièrement, nous analysons la structure spatio-temporelle des corrélations quantiques hors équilibre dans les modèles sur réseau. Celle-ci présente une forme de cône de lumière avec une structure double. Deux vitesses caractéristiques peuvent être extraites des corrélations proches du bord du cône, dont une donne la vitesse de propagation des corrélations quantiques. Ces deux vitesses dépendent des propriétés dynamiques du spectre d'excitation du modèle sous-jacent. Deuxièmement, nous discutons comment la spectroscopie

par quench peut être utilisée pour reconstruire les propriétés spectrales à partir des corrélations spatio-temporelles de simples observables ou corrélateurs à temps égaux. Ceci offre la possibilité de reconstruire la relation de dispersion des excitations à partir d'instantanés de l'expérience obtenus à l'aide de microscopes quantiques, en évitant les fastidieux balayage et étalonnage en vecteur d'onde nécessaires dans les méthodes pompe-sonde standard. Nous étudions des quenches globaux et locaux sur des systèmes non-désordonnés, et discutons du rôle joué par l'observable sur les caractéristiques spectrales. La méthode générale est illustrée sur divers exemples incluant le modèle de Bose-Hubbard et des modèles de chaînes de spin, dans diverses phases, régimes et pour différentes observables. Troisièmement, nous étendons la spectroscopie par quench aux systèmes désordonnés. En prenant comme exemple la chaîne de Bose-Hubbard désordonnée, nous montrons à l'aide d'une seule sonde comment la méthode peut distinguer sans ambiguïté le verre de Bose de l'isolant de Mott et du superfluide. En utilisant une sonde spectrale à résolution spatiale, nous reconstruisons également le diagramme de phase complet du modèle.

Title : Out-of-equilibrium dynamics and quench spectroscopy of ultracold many-body quantum systems

Keywords : quantum quench, light-cone dynamics, correlation spreading, disordered systems, Bose glass, excitation spectrum

Abstract : Ultracold atoms have emerged as a versatile platform to realise and control strongly-correlated quantum systems. Spectroscopic methods are the common tools to probe the properties of the excitations which control dynamical transport phenomena. In this thesis, we develop a novel spectroscopic method named quench spectroscopy that uses the out-of-equilibrium dynamics generated by a quantum quench to grant momentum-resolved information about the excitations. We benchmark the method on one-dimensional models where efficient density matrix renormalisation group numerical simulations are available. First, we analyse the out-of-equilibrium space-time pattern of quantum correlations in lattice models following a quantum quench. It displays a generic light-cone like pattern with a twofold structure. Two characteristic velocities can be extracted from the correlations close to the cone edge, one of which gives the velocity for the propagation of quantum correlations throughout the system. Both of these velocities can be related to dynamical properties of the ex-

citation spectrum of the underlying model. Second, we discuss how quench spectroscopy reconstructs spectral properties from space-time patterns using simple equal-time observables or correlators. It allows to reconstruct the full dispersion relation from a series of snapshots of the experiment using quantum gas microscopes, and avoids the tedious scan and calibration in momentum necessary in standard pump-probe methods. We investigate both global and local quenches on clean systems, and discuss the role played by the observable on the spectral features. We discuss the implementation on various examples including the Bose-Hubbard model and spin chain models in various phases, regimes and for different observables. Third, we extend quench spectroscopy to disordered systems. Using as an example the disordered Bose-Hubbard chain, we show using a single probe how the method can unambiguously tell apart the Bose glass from the Mott insulator and the superfluid. Using a spatially-resolved spectral probe, we also reconstruct the full phase diagram of the model.